Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 1, June 2024, pp. 1-21
Original Research

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir/

پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۱، نیمهٔ اول ۱۴۰۳، ص. ۲۱-۱
نوع مقاله: پژوهشی

https://doi.org/10.22067/ijpr.2023.79906.1049

Screening of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genotypes for Salinity Tolerance at Early Growth Stages

Narges Safaei Ghalehzou[1], Mohammad Kafi[2*], Ahmad Nezami[2], Jafar Nabati[3]

Received: 05-12-2022 Revised: 12-02-2023 Accepted: 01-07-2023 Available Online: 01-06-2024	**How to cite this article:** Safaei Ghalehzou, N., Kafi, M., Nezami, A., & Nabati, J. (2024). Screening of chickpea *(Cicer arietinum* L.) genotypes for salinity tolerance at early growth stages. *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(1), 1-21. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2023.79906.1049

Introduction
Chickpea is an important source of energy and protein of the Iranian people's diet. Iran is one of the main centers of genetic diversity of this crop. The cultivation of chickpea nowadays is practiced using irrigation or supplemented irrigation in many parts of Iran, as more challenging by climate change, precipitation decline, and salinization of underground water resources. On the other side, there is no enough fresh water to meet the full water requirement of chickpea. Although chickpea consider as a salt sensitive crop but there are some reports that show some variable reaction to salinity amongst different chickpea genotypes. A collection of cold and drought stress tolerant chickpea genotypes are maintained in Mashhad Chickpea Collection (MCC) in the Plant Science Research Center of Ferdowsi University of Mashhad. Therefore, testing the tolerance of different genotypes and landraces of this crop to salinity stress is of important, and this experiment is arranged to test salinity tolerance of chickpea genotypes in this collection.

Materials and Methods
In order to identify and assess of chickpea genotypes salinity tolerant, seeds of 206 Mashhad Chickpea Collection genotypes were kindly prepared by Plant Science Research Center of Ferdowsi University of Mashhad (FUM). The experiment was carried out in the research green house of Faculty of Agriculture of FUM at the spring of 2021 which light was normal, and temperature and humidity were controlled. A randomized complete block design was used with three replications and each treatment consist of 10 plants for each genotype. Seeds were sown in the shallow trays in the lab at 25 degrees centigrade and emerged seedling were transplanted in the sand culture medium. Saline water prepared by adding NaCl to tap water till its EC reached to 12 $dS.m^{-1}$. Salinity imposed after a week of transplanting through the Hoagland nutrient solution and continued for four weeks. Nutrient solution was renewed each week and 12 $dS.m^{-1}$ NaCl dissolved in that solution. Measured traits included the height difference at the beginning of the imposing of salt stress and for weeks later, number of branch per plant, survival percentage, and biomass accumulation. Sodium and potassium content of shoots. Data were analyzed using Minitab for windows 17 and standard error and cluster analysis arranged using JMP4 software.

Results and Discussion
The results showed that 31 genotypes have a survival rate of 76-100% which 10 genotypes showed survival rate of 100%. Plant height, biomass, and number of lateral branches per plant decreased as survival rate decreased. Significant increase in shoot Na^{+} concentration was only found in survival range of 0-25% while the shoot sodium content was the lowest in in group of 57-100% survival compared to the other three groups. Biomass accumulation also reduced more rapidly in low survival group (0-25%) compare with 76-100% survival group by 66%. The correlation analysis showed that survival rate, plant height and number of lateral branches per plant, biomass, plant height difference and shoot K^{+} concentration showed significantly positive correlation. Based on factor analysis, three factors were selected that in total 79% of the total variation was explained. The first and second factors were explained high percent of variation that include survival rate and plant height and number of lateral branches per plant, biomass, plant height difference and Na+ concentration. Genotypes MCC1782, MCC197 ,MCC1703 ,MCC1568, MCC1573, MCC1737, MCC1209, MCC1516, MCC1493, MCC1832, MCC1957, MCC1721, MCC2016, MCC1704, MCC1641, MCC1815, MCC1775,

1, 2 and 3- M.Sc. Student, Professor and Assistant Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
* Corresponding Author's Email: m.kafi@um.ac.ir

MCC178, MCC1754, MCC1627, MCC1716, MCC1918, MCC1827 ,were selected as the superior genotype under salinity stress of 12 $dS.m^{-1}$ for four weeks. According to the result of cluster analysis, the genotypes were classified in four clusters. The genotypes of the third and fourth clusters had a high average salinity tolerance compared to other clusters with the investigated traits.

Conclusions
While chickpea is not traditionally considered a salt-tolerant crop, the observed variations among genotypes suggest that further efforts are required to screen and identify salt-tolerant genotypes and landraces for potential inclusion in breeding programs. It's important to note that the current study was conducted in a controlled environment, with only a few weeks of exposure to salinity treatment. Consequently, we propose a more extensive experiment that includes those genotypes exhibiting superior performance in terms of survival rate, biomass accumulation, low shoot sodium content, and high potassium content.

Keywords: Biomass, Cluster analysis, Factor analysis, Sodium, Survival percentage

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 1, June 2024, pp. 1-21
Original Research

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir/

پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۱، نیمهٔ اول ۱۴۰۳، ص. ۲۱-۱
نوع مقاله: پژوهشی

https://doi.org/10.22067/ijpr.2023.79906.1049

غربالگری ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) برای تحمل به شوری در مرحله ابتدای رشد رویشی

نرگس صفائی قلعه زو،[۱] محمد کافی[۲*]، احمد نظامی[۲]، جعفر نباتی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰

چکیده

به‌منظور شناسایی و ارزیابی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری، ۲۰۶ ژنوتیپ نخود در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در شرایط هیدروپونیک، در مرحله گیاهچه‌ای در معرض تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر سدیم کلرید قرار گرفتند. نتایج نشان داد که ۳۱ ژنوتیپ، از بقای بین ۱۰۰-۷۶ درصد برخوردار بودند و از بین آن‌ها، ۱۰ ژنوتیپ میزان بقای ۱۰۰ درصد داشتند. در اثر تنش شوری با کاهش میزان بقا، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته و زیست‌توده کاهش یافت. میانگین غلظت سدیم اندام‌های هوایی گیاه فقط در دامنه بقای ۵۰-۲۶ درصد نسبت به سایر دامنه‌های بقا، افزایش نشان داد. میزان بقا با تعداد شاخه فرعی، ارتفاع بوته، اختلاف ارتفاع بوته قبل و بعد از تنش، زیست‌توده و غلظت پتاسیم در گیاه همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. بر اساس نتایج تجزیه عامل‌ها، سه عامل در مجموع ۷۵ درصد از تغییرات موجود در کل داده‌ها توجیه کردند. عامل اول و دوم که بیشترین تغییرات واریانس داده‌ها را توجیه کردند، شامل میزان بقا، تعداد شاخه فرعی در بوته، ارتفاع بوته، اختلاف ارتفاع بوته قبل و بعد از تنش، زیست‌توده و غلظت سدیم در بوته بودند. ژنوتیپ‌های MCC1782، MCC1977، MCC1703، MCC1568، MCC1573، MCC1737، MCC1209، MCC1516، MCC1493، MCC1832، MCC1957، MCC1721، MCC2016، MCC1704، MCC1641، MCC1815، MCC1775،MCC178، MCC1754، MCC1627، MCC1716، MCC1918، MCC1827، به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل‌تر انتخاب شدند. ژنوتیپ‌های مورد بررسی در چهار گروه، دسته‌بندی شدند که گروه سوم و چهارم از نظر بقا، زیست‌توده، ارتفاع بوته میانگین بالاتری را در میان سایر گروه‌ها داشتند و می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی برای تحمل به شوری استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای؛ تجزیه عامل‌ها؛ درصد بقا؛ زیست‌توده؛ سدیم

مقدمه

حبوبات سهم بالایی در تولید و درآمد در بوم‌نظام‌های کشاورزی معیشتی دارند. دانه این گیاهان دارای درصد بالایی از پروتئین است که تقریباً ۱۵ درصد از پروتئین مورد نیاز مردم دنیا از این گیاهان تهیه می‌شود (Tsehaye et al., 2020). نخود (*Cicer arietinum* L.) یک گیاه زراعی است که در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شود (Gautam et al., 2021). علاوه‌براین، زراعت نخود به‌دلیل داشتن ارزش غذایی و توانایی طبیعی تثبیت نیتروژن اتمسفر دارای اهمیت فراوان برای باروری خاک است (Kaashyap et al., 2018). با وجود تحمل نسبتاً بالای نخود به خشکی، این گیاه به شوری حساس است (Kotula et al., 2019).

شوری یکی از تنش‌های محیطی است که تأثیر منفی بر رشد و نمو گیاهان دارد. مناطق وسیعی از زمین‌های زیر کشت در سراسر دنیا تحت تأثیر تنش شوری قرار دارد (Moustafa et al., 2021). هر ساله به‌ویژه در مناطق خشک به‌دلیل بارش کم، تبخیر زیاد، زهکشی ضعیف و روش‌های آبیاری نامناسب، سطح زمین‌های شور جهان گسترش می‌یابد (Moustafa et al., 2021). تنش شوری مشکلاتی مانند کاهش جوانه‌زنی بذر، کاهش رشد و عملکرد محصولات زراعی را به همراه دارد (Aslam et al., 2018). حساسیت نخود در مراحل مختلف رشد به شوری متفاوت است و در مرحله زایشی حساس‌تر به تنش شوری است. زمانی که نخود در معرض تنش شوری قرار می‌گیرد، در ابتدا ریشه گیاه مورد آسیب قرار می‌گیرد (Kaashyap et al., 2022) و با افزایش غلظت نمک در اطراف ریشه، پتانسیل آب اطراف ریشه کاهش می‌یابد که این امر سبب جلوگیری از جذب آب شده و در نتیجه، سبب ایجاد تنش اسمزی در گیاه می‌شود (Mushtaq et al., 2022). تنش

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و استادیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: m.kafi@um.ac.ir)

شوری سبب ریزش گل و غلاف در گیاه نخود شده و در نتیجه، عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (Soren et al., 2020).

واکنش گیاه به تنش شوری در طی دو مرحله انجام می‌شود (Arzani & Ashraf, 2016; Munns & Tester, 2008): مرحله اول فاز اسمزی است که واکنشی است که بلافاصله توسط گیاه تحت تأثیر شوری ظاهر می‌شود. تنش اسمزی، جذب آب توسط گیاه را دچار مشکل نموده و بر رشد و نمو گیاه تأثیر منفی دارد. مرحله دوم، تأثیر شوری در گیاه موقعی آشکار می‌شود که غلظت بالایی از یون‌های سمی سدیم (Na^+) و کلر (Cl^-) در گیاه تجمع یافته باشد. از آنجائی که سدیم کلرید جزء اصلی خاک شور می‌باشد، یون‌های سدیم و کلر به‌مقدار زیادی در گیاه تجمع می‌یابد که موجب سمیت می‌شود، به‌طوری‌که فرآیندهای متابولیکی اساسی گیاه از جمله فتوسنتز و تنفس را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اختلال در جذب مواد غذایی و تنش اکسیداتیو به‌عنوان تنش‌های ثانویه شوری مطرح می‌باشند (Arzani, 2008).

زمانی که نخود تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرد، به دنبال آن تنش‌های ثانویه مانند تنش اکسیداتیو نیز در گیاه ایجاد می‌شود. تنش اکسیداتیو سبب بروز رادیکال‌های آزاد شده و این رادیکال‌های آزاد سبب اکسید شدن پروتئین‌ها و لیپیدها و در نهایت، منجر به نابودی سلول می‌شود (Nasiri et al., 2021). گزارش شده است که در نخود تحت تنش شوری، نرخ رشد محصول تا ۲۰ درصد و ارتفاع گیاه تا ۱۵ درصد و زیست‌توده کل گیاه تا ۲۸ درصد کاهش می‌یابد (Lavrenko et al., 2018). در نخود، سازوکارهای فیزیولوژیک متفاوتی برای تحمل در برابر تنش شوری مانند افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول و اسیدآمینه پرولین در اندام‌های هوایی وجود دارد (Nasiri et al., 2021). نتایج کومار و همکاران حاکی از این است که در ژنوتیپ‌های متحمل به شوری نخود، غلظت سدیم تجمع یافته در اندام هوایی گیاه به‌طور معنی‌داری از ژنوتیپ‌های حساس کمتر است (Kumar et al., 2021). تنش شوری باعث کاهش شاخص پایداری غشا، سطح سبز برگ، درصد ماده خشک ریشه و اندام هوایی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی و وزن خشک اندام هوایی و ریشه در ژنوتیپ‌های نخود شد (Zare Mehrjardi et al., 2011). بقای گیاه نخود در شرایط شور ارتباط مستقیمی با حفظ برگ‌های گیاه داشت که این امر وابسته به حفظ پایداری غشا و کاهش ورود سدیم به داخل گیاه است (Nabati et al., 2021).

با وجود اینکه نخود به شوری حساس است، امّا در میان ژنوتیپ‌های آن تنوع در تحمل به شوری وجود دارد (Kumar et al., 2021)؛ بنابراین می‌توان از این تنوع در گزینش ارقام متحمل به شوری استفاده کرد. در این راستا، به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری بانک بذر حبوبات پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد و معرفی آن‌ها برای برنامه‌های اصلاحی آینده، تحمل به شوری ۲۱۵ ژنوتیپ نخود کابلی در شرایط کنترل شده مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در شرایط آب‌کشت (هیدروپونیک) در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، در سال ۱۴۰۰ انجام شد. تعداد ۲۰۶ ژنوتیپ نخود با استفاده از طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر سدیم کلرید (NaCl) مورد مطالعه قرار گرفتند (Nabati et al., 2021). بذرها از بانک بذر حبوبات پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شد.

بستر مورد استفاده در این آزمایش، ماسه بود و تغذیه از طریق محلول غذایی هوگلند (Hoagland & Arnon, 1950) انجام شد. سیستم تغذیه در این مطالعه، سیستم بسته بود و محلول غذایی در بستر به‌طور متناوب گردش می‌کرد و هر هفته با تعویض محلول هوگلند بر اساس سطح شوری مورد نظر تنظیم می‌شد. با توجه به اینکه محلول هوگلند به‌واسطه دارا بودن عناصر غذایی، حدود دو دسی زیمنس بر متر هدایت الکتریکی ایجاد می‌کند، در نتیجه مجموع هدایت الکتریکی محلول غذایی و تیمار شوری، ۱۴ دسی زیمنس بر متر بود. ابتدا بذرها در آزمایشگاه جوانه‌دار گردید، سپس در اردیبهشت‌ماه به محیط هیدروپونیک در گلخانه منتقل شدند. دمای روز و شب گلخانه، به‌ترتیب ۲۵ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد و با دامنه تغییر ۵± درجه سانتی‌گراد بود. سیستم کشت هیدروپونیک در این پژوهش شامل جعبه‌های پلاستیکی با ابعاد ۶۰×۴۰ سانتی‌متری بود و در هر جعبه شش ژنوتیپ کشت شد. در هر جعبه از ۶۰ بذر استفاده شد و از هر ژنوتیپ و تکرار ۱۰ بذر جوانه‌دار شده به‌فاصله پنج سانتی‌متر در ماسه کشت شد. یک هفته بعد از انتقال گیاهچه‌ها به گلخانه، تنش شوری به‌مدت چهار هفته اعمال شد.

قبل از اعمال تنش شوری، ارتفاع بوته ثبت گردید و چهار هفته بعد از اعمال تنش شوری، ارتفاع بوته، اختلاف ارتفاع بوته قبل و بعد از تنش شوری، تعداد شاخه در بوته، میزان بقای بوته و محتوای سدیم و پتاسیم اندام هوایی گیاه اندازه‌گیری شد. برای محاسبه میزان بقا، تعداد بوته‌های استقرار یافته قبل از اعمال تنش شوری ثبت‌شده و پیش از برداشت نیز تعداد بوته‌های زنده ثبت شد و میزان بقا محاسبه گردید. بر اساس

بقا، ژنوتیپ‌ها به چهار گروه ۱۰۰-۷۶، ۷۵-۵۱، ۵۰-۲۶ و ۲۵-۰ درصد بقا طبقه‌بندی شدند.

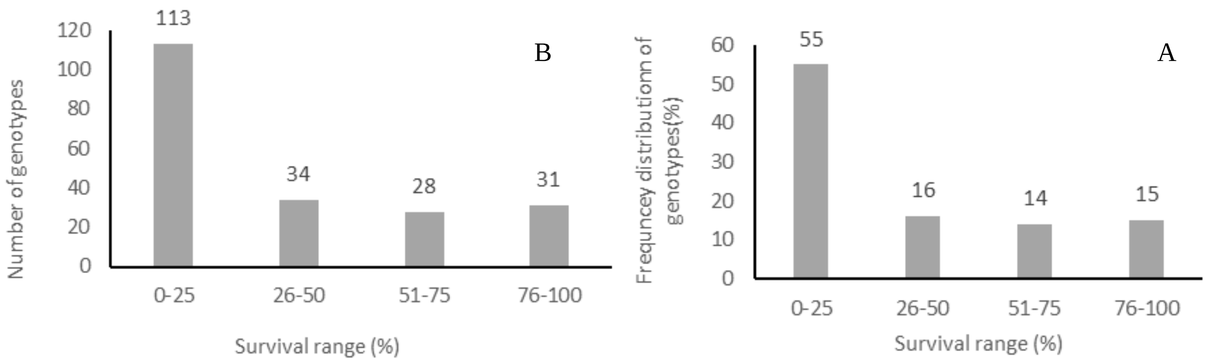
در انتها بوته‌ها برداشت و وزن خشک آن‌ها پس از ۴۸ ساعت قرارگیری در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد ثبت شد. برای اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم اندام‌های هوایی، از ۲۵۰ میلی‌گرم نمونه خشک آسیاب شده استفاده شد. نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در اسید نیتریک غلیظ هضم گردید و به‌مدت یک ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. در نهایت، پس از صاف کردن و به حجم رساندن، میزان سدیم و پتاسیم با دستگاه فلیم‌فتومتر (UK-Jenway) و محلول‌های استاندارد تعیین شد (Tandon, 1995).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار Minitab 17 و خطای استاندارد و تجزیه خوشه‌ای (بر اساس روش Ward) با استفاده از نرم‌افزار JMP 4 انجام شد. برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی از نرم‌افزار STATISTICA8 استفاده شد. برای تأیید صحت گروه‌بندی از تجزیه واریانس چند متغیره و تجزیه تابع تشخیص از نرم‌افزار SPSS27 استفاده شد.

نتایج و بحث

چهار هفته بعد از اعمال تنش شوری، تفاوت معنی‌داری میان ژنوتیپ‌های نخود از نظر میزان بقا وجود داشت (جداول ۱، ۲، ۳ و ۴). بررسی درصد فراوانی ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر تنش شوری نشان داد که میزان بقای ۱۵ درصد از ژنوتیپ‌ها (۳۱ ژنوتیپ)، بین ۱۰۰-۷۶ درصد بود و ۵۵ درصد (۱۱۳ ژنوتیپ‌ها) میزان بقای ۲۵-۰ درصد داشتند (شکل ۱). در میان ژنوتیپ‌ها، ۱۰ ژنوتیپ دارای بقای ۱۰۰ درصد بودند و ۶۹ ژنوتیپ بعد از چهار هفته اعمال تنش شوری به‌طور کامل از بین رفتند (جداول ۱ و ۴). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در شرایط تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر در محیط هیدروپونیک، تنوع قابل‌توجهی از نظر تحمل به شوری در میان ژنوتیپ‌های نخود وجود داشت؛ اگرچه نباید از این نکته غافل شد که در شرایط هیدروپونیک، فراهمی عناصر غذایی در محلول هوگلند می‌تواند میزان تحمل به شوری را در گیاهان افزایش دهد؛ در نتیجه تحمل ۱۲ دسی زیمنس بر متر تنش شوری در این شرایط، لزوماً برابر با تحمل این سطح از تنش شوری در شرایط طبیعی نخواهد بود.

از سوی دیگر، شوری اعمال شده در این بررسی، سدیم کلرید خالص بود که معمولاً در شرایط طبیعی، به‌ندرت شوری موجود در آب و خاک زراعی، از سدیم کلرید خالص است و عموماً سایر عناصر مفید مانند پتاسیم نیز در شرایط شور همراه آب آبیاری است که در تعدیل اثرات تنش کارآمد است. در مجموع و با وجود حساسیت بالای نخود به تنش شوری، وجود این تنوع در تحمل شوری می‌تواند امیدبخش باشد (Kaashyap et al., 2022).



شکل ۱- تعداد (A) و درصد فراوانی نسبی (B) ژنوتیپ‌های نخود در دامنه‌های بقا، چهار هفته بعد از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم

Fig. 1- Number (A) and frequency (B) of chickpea genotypes in different survival range after four weeks of 12dS.m^{-1} NaCl salinity

جدول ۱- تأثیر تنش شوری (۱۲دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم) بر صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های نخود در دامنه بقای ۷۶ تا ۱۰۰ درصد

Table 1- Effect of salinity stress (12 $dS.m^{-1}$ of sodium chloride) on different traits of chickpea genotypes in the survival range of 76-100%

ژنوتیپ Genotype (MCC)	بقا Survival (%)	شاخه در بوته $Branch.plant^{-1}$	ارتفاع بوته Plant height (cm)	اختلاف ارتفاع بوته ΔHeight (cm)	زیست‌توده Biomass ($mg.plant^{-1}$)	محتوی سدیم Na ($mg.gdw^{-1}$)	محتوی پتاسیم K ($mg.gdw^{-1}$)	نسبت سدیم به پتاسیم $Na.K^{-1}$
1703	100	10.0	24	7	690	3.00	11.7	0.26
1568	100	10.0	26	9	617	6.50	28.6	0.23
1573	100	12.3	24	7	404	18.2	17.9	1.02
1737	100	9.00	23	3	739	4.10	19.7	0.21
1209	100	10.5	27	10	772	5.10	30.6	0.17
1466	100	10.0	23	7	594	15.20	7.1	2.14
1493	100	9.30	20	2	461	9.30	10.9	0.85
1832	100	9.00	26	8	193	3.30	7.0	0.47
1957	100	10.5	23	4	546	31.80	43.4	0.73
1721	100	12.5	27	6	371	5.70	3.7	1.37
2016	92	9.00	26	8	613	5.40	14.7	0.37
1704	92	9.70	21	3	457	7.50	22.1	0.34
1641	91	12.3	32	11	757	11.30	13.6	0.83
1815	91	9.70	28	9	654	8.40	20.8	0.40
1775	91	10.3	25	8	539	1.90	12.4	0.15
1787	90	9.70	26	7	536	8.80	14.5	0.61
1760	90	11.0	24	6	572	8.20	6.6	1.24
1625	90	8.00	22	2	638	3.40	11.8	0.29
1977	89	8.70	21	10	392	4.70	7.6	0.62
1716	87	11.0	40	0	799	3.90	6.8	0.57
1782	85	10.3	22	9	462	2.50	10.2	0.24
2112	85	11.7	28	9	725	5.00	6.8	0.73
1827	85	9.00	24	4	481	8.80	9.0	0.98
1918	83	10.0	18	3	668	6.40	13.0	0.49
1516	83	11.3	21	5	545	7.00	43.2	0.16
2121	83	7.30	22	2	526	3.50	15.0	0.23
1545	82	9.30	27	7	530	4.20	10.3	0.41
1760	80	7.00	22	5	656	8.90	24.0	0.37
2009	77	11.3	28	9	561	8.60	19.9	0.43
1507	77	10.7	26	6	383	3.60	25.9	0.14
1529	76	11.0	19	1	446	15.4	17.9	0.86
حداقل تفاوت معنی‌دار $LSD_{(0.05)}$	2.32	2.99	7.40	4.60	275.23	5.11	5.29	6.34
سطح احتمال P_{value}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	001^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}
ضریب تغییرات CV (%)	4	19	19	69	34	25	18	90

MCC: بانک بذر نخود مشهد، LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، CV: ضریب تغییرات.

MCC: Mashhad Chickpea Collection, LSD: Least Significant Difference in $p \leq 0.05$ of probability level, CV: Coefficient of variation.

از نظر ارتفاع بوته، بین ژنوتیپ‌های نخود تحت تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر، تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جداول ۱، ۲، ۳ و ۴). بررسی روند ارتفاع بوته در دامنه‌های بقا، تحت تنش شوری نشان داد که متوسط ارتفاع بوته با کاهش میزان بقا کاهش می‌یابد. این میزان کاهش به نحوی بود که متوسط ارتفاع بوته نسبت به دامنه بقای ۱۰۰-۷۶ درصد در

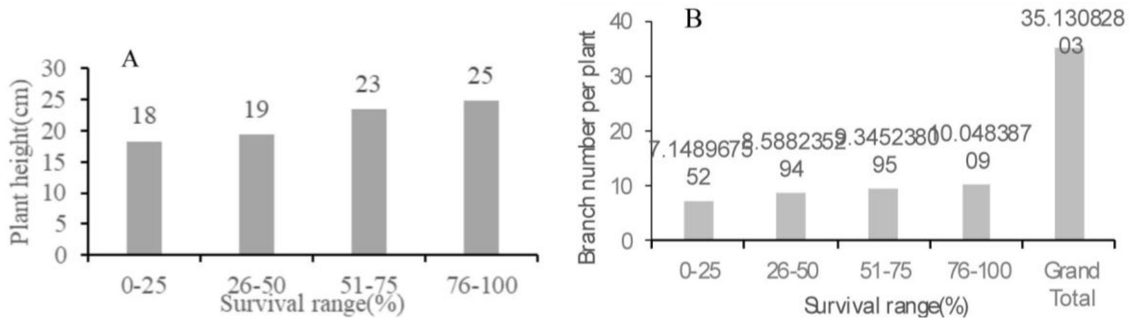
دامنه بقای بین ۷۵-۵۱، ۵۰-۲۶، ۲۵-۰ درصد، به‌ترتیب ۸/۹، ۳۲ و ۳۹ درصد ارتفاع کاهش یافت (شکل ۲A). ارتفاع بوته با بقا همبستگی مثبت دارد و می‌تواند بیانگر رشد بیشتر ژنوتیپ‌های متحمل به شوری باشد (جدول ۵).

سطوح بالای شوری با بر هم زدن تعادل یونی گیاهان و کاهش پتانسیل آبی ریشه‌ها استخراج آب را محدود کرده و سرعت رشد را کاهش می‌دهد (Sun et al., 2017). بنابراین، رشد گیاه و افزایش ارتفاع گیاه در شرایط تنش شوری کاهش می‌یابد. کاهش ارتفاع بوته در گیاه نخود در سایر مطالعات نیز گزارش شده است که با نتایج این مطالعه هم‌خوانی دارد (Doraki et al., 2018).

بین ژنوتیپ‌های نخود، تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد شاخه فرعی در بوته تحت تنش شوری وجود داشت (جداول ۱، ۲، ۳ و ۴). با افزایش بقا در تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر، تعداد شاخه‌های فرعی در بوته افزایش یافت، به‌شکلی که تعداد شاخه‌های فرعی در بوته، از دامنه بقای ۲۵-۰ درصد به ۵۰-۲۶، ۷۵-۵۱ و ۱۰۰-۷۶ درصد، به‌ترتیب ۲۱، ۳۰ و ۴۰ درصد افزایش یافت (شکل B ۲). همبستگی تعداد شاخه فرعی در بوته با بقا (r^2=۰/۴۹**) و ارتفاع بوته (r^2=۰/۴۴**) مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵). هر چه بوته‌ها از ارتفاع بیشتر برخوردار بودند، تعداد شاخه‌های فرعی آن نیز بیشتر بود. با توجه به این نتایج، ژنوتیپ‌هایی که قادر به حفظ بقای بالاتری شده بودند، توسعه بیشتری پیدا کردند و از تعداد شاخه بیشتر برخوردار بودند (Vaishnani et al., 2022). تنش شوری باعث بر هم خوردن تعادل اسمزی در گیاه شده و به بافت‌های گیاه از طریق سمیت یونی، برهم‌کنش‌های هورمونی آسیب وارد می‌کند و عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد. افزایش غلظت سدیم در گیاه سبب کاهش اندازه برگ‌ها، بسته شدن روزنه‌ها، افزایش نکروز و کلروز برگ و سپس مرگ برگ می‌شود (Soren et al., 2020)).

همان‌طور که از نتایج پیدا است، گیاهان تحت تنش شوری به‌دلیل کاهش رشد و صرف انرژی بیشتر برای تحمل تنش، فرصت تولید شاخه بیشتری نداشتند. غلظت سدیم اندام هوایی ژنوتیپ‌های نخود، تحت تأثیر معنی‌دار شوری قرار گرفت (جداول ۲، ۳ و ۴). در شرایط شوری، تلاش گیاهان به‌شکلی است که غلظت پتاسیم در اندام هوایی نسبت به سدیم بیشتر شود. این نسبت از طریق فعالیت انتقال‌دهنده‌های یون سدیم و پتاسیم انجام می‌گیرد (Pushpavalli et al ., 2016; Kumar et al., 2021).

در مطالعه حاضر، غلظت سدیم در اندام‌های هوایی نخود در بقای بالای ۷۶ درصد کمترین مقدار بود. در بقای کمتر از ۷۵ درصد، مقدار سدیم در اندام هوایی تغییرات معنی‌داری نداشت، امّا مقدار پتاسیم در آن دسته ژنوتیپ‌هایی که تحمل بیشتری به تنش شوری داشته و بقای بالاتری دارند، همواره بیشتر از سایر ژنوتیپ‌های نخود بود (جداول ۲، ۳ و ۴). تنش شوری سبب افزایش سدیم در گیاه و آسیب به برگ و کاهش فتوسنتز می‌شود، گیاهان تحت تنش شوری، رشد رویشی و زایشی خود را کاهش می‌دهند، این عمل سبب بقای بیشتر گیاه می‌شود (Kotula et al., 2019). تنش شوری باعث افزایش قابل توجهی میزان سدیم در اندام‌های هوایی نخود می‌شود. تأثیر تنش شوری بر مقدار سدیم در اندام‌های هوایی گیاه نشان از آن است که گیاه نخود نسبت به تنش شوری حساس است و کارآیی لازم در برابر ورود نمک به سیستم آوندی خود را ندارد (Doraki et al., 2018).



شکل ۲- متوسط ارتفاع بوته (A) و تعداد شاخه‌های فرعی در بوته (B) در ژنوتیپ‌های نخود در دامنه‌های بقا، چهار هفته بعد از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم

Fig. 2- Average plant height (A) and branch number per plant (B) of chickpea genotypes in different survival range after four weeks of 12 dS.m^{-1} NaCl salinity

جدول ۲- تأثیر تنش شوری (۱۲دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم) بر صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های نخود در دامنه بقای ۵۱ تا ۷۵ درصد

Table 2- Effect of salinity stress of (12 $dS.m^{-1}$ of sodium chloride) on different traits in chickpea genotypes in the survival range of 51-75%

ژنوتیپ Genotype (MCC)	بقا Survival (%)	شاخه در بوته Branch. $plant^{-1}$	ارتفاع بوته Plant height (cm)	اختلاف ارتفاع بوته ΔHeight (cm)	زیست‌توده Biomass ($mg.plant^{-1}$)	محتوی سدیم Na ($mg.gdw^{-1}$)	محتوی پتاسیم K ($mg.gdw^{-1}$)	نسبت سدیم به پتاسیم $Na.K^{-1}$
1816	75	9.67	27	6	630	5.50	37.90	0.14
1973	75	9.33	26	8	590	17.8	5.20	3.42
1748	74	9.67	22	6	363	8.00	53.20	0.15
1836	70	8.00	21	6	553	6.60	33.70	0.19
1606	70	8.00	21	3	484	0.90	10.80	0.08
2034	70	11.0	29	9	556	35.9	7.90	4.54
1820	69	11.3	24	8	529	3.50	29.30	0.12
1812	69	10.3	21	4	673	3.40	6.60	0.51
1809	68	11.0	30	19	614	6.40	20.80	0.38
1887	68	11.0	28	10	742	3.50	9.70	0.36
1585	67	8.67	21	6	728	32.1	4.20	7.64
1277	67	9.33	25	7	677	4.30	21.10	0.20
1883	62	10.0	24	4	329	13.1	12.30	1.07
1571	62	10. 7	21	8	335	3.90	41.4	0.09
1971	62	9.67	22	3	663	27.6	9.40	2.94
1987	62	9.33	24	8	517	5.60	31.40	0.18
1905	61	10.0	20	5	423	6.10	2.00	3.05
1865	60	11.0	23	7	704	3.30	6.70	0.49
1808	60	9.00	24	3	560	3.30	10.30	0.32
1512	58	11.7	24	9	654	6.90	9.70	0.71
1964	58	6.33	28	8	300	2.80	20.80	0.13
2117	57	8.50	18	1	584	11.9	15.50	0.77
1803	56	7.00	16	2	446	15.9	7.10	2.24
1803	54	7.67	20	3	375	8.30	31.80	0.26
1574	51	7.00	21	5	395	14.2	8.40	1.69
1561	51	5.50	20	0	378	17.6	61.40	0.29
1278	51	11.0	26	6	324	4.30	46.80	0.09
1763	51	10.0	30	11	421	19.4	13.70	1.42
حداقل تفاوت معنی‌دار $LSD_{(0.05)}$	2.32	2.99	7.40	4.60	275.23	5.11	5.29	6.34
سطح احتمال P_{value}	0.01**	0.01**	0.01**	001**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**
ضریب تغییرات CV (%)	4	19	19	69	34	25	18	90

MCC: بانک بذر نخود مشهد، LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، CV: ضریب تغییرات.

MCC: Mashhad Chickpea Collection, LSD: Least Significant Difference in p≤0.05 of probability level, CV: Coefficient of variation.

جدول ۳- تأثیر تنش شوری (۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم) بر صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های نخود در دامنه بقای ۲۶ تا ۵۰ درصد

Table 3- Effect of salinity stress of (12 $dS.m^{-1}$ of sodium chloride) on different traits in chickpea genotypes in the survival range of 26-50%

ژنوتیپ Genotype (MCC)	بقا Survival %	شاخه در بوته Branch. $plant^{-1}$	ارتفاع بوته Plant height (cm)	اختلاف ارتفاع بوته ΔHeight (cm)	زیست‌توده Biomass ($mg.plant^{-1}$)	محتوی سدیم Na ($mg.gdw^{-1}$)	محتوی پتاسیم K ($mg.gdw^{-1}$)	نسبت سدیم به پتاسیم $Na.K^{-1}$
1508	50	8.00	9	3	664	5.3	7.00	0.76
1286	50	11.0	22	6	480	19.1	5.80	3.80
1548	50	9.67	16	5	737	8.7	34.7	0.25
20555	50	8.33	19	5	630	4.1	10.0	0.41
1966	50	9.67	24	5	588	14.1	35.1	1.66
2122	50	6.00	14	3	255	9.6	8.50	1.13
1963	50	9.33	22	4	712	10.7	1.50	7.13
1515	50	6.00	18	1	471	34.9	4.50	7.75
1580	50	10.0	20	3	704	18.0	5.70	3.18
2084	50	8.00	22	3	314	9.0	6.30	2.43
1755	46	8.00	20	1	671	24.7	4.60	5.37
1914	44	7.67	17	2	257	21.1	60.8	0.35
1578	44	8.33	22	3	390	1.6	20.4	0.08
1709	43	10. 7	20	5	565	4.0	9.20	0.43
1846	40	8.33	13	4	419	14.4	2.30	6.26
1816	39	10.5	23	5	503	27.0	27.3	0.99
1889	36	13.3	20	4	621	9.1	14.1	0.64
2010	36	9.33	17	6	236	14.7	28.6	0.51
1503	34	8.00	21	4	357	31.0	24.8	1.25
1817	33	8.67	19	7	359	4.6	10.3	0.45
1626	33	8.67	15	5	451	4.8	47.1	0.10
1514	33	9.00	22	7	453	12.0	29.7	0.40
1731	33	7.00	14	0	218	18.3	4.40	4.16
1925	33	5.67	22	7	231	29.2	4.70	6.21
1636	33	9.33	21	1	541	2.7	20.1	0.13
1777	33	8.00	29	7	427	8.4	7.40	1.13
1680	33	8.33	20	4	340	8.8	5.10	1.72
2082	29	8.00	26	5	514	11.1	26.0	0.43
1500	29	8.00	17	2	416	15.7	25.9	061
1063	29	10.0	19	2	357	5.5	6.40	0.86
1546	27	10.0	23	7	661	6.8	7.50	0.91
1576	27	7.67	19	0	408	7.3	6.80	1.07
1751	26	6.00	16	3	337	2.0	10.0	0.2
1501	26	7.50	16	6	201	9.1	4.70	1.94
حداقل تفاوت معنی‌دار $LSD_{(0.05)}$	2.32	2.99	7.40	4.60	275.23	5.11	5.29	6.34
سطح احتمال P_{value}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	001^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}
ضریب تغییرات CV (%)	4	19	19	69	34	25	18	90

MCC: بانک بذر نخود مشهد، LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، CV: ضریب تغییرات.

MCC: Mashhad Chickpea Collection, LSD: Least Significant Difference in $p \leq 0.05$ of probability level, CV: Coefficient of variation.

چهار هفته بعد از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر، بین زیست‌توده ۲۰۶ ژنوتیپ نخود تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جداول ۱، ۲، ۳ و ۴). بررسی میزان زیست‌توده تولیدی در دامنه‌های بقا تحت تأثیر تنش شوری نشان داد که با افزایش بقا، زیست‌توده اندام هوایی افزایش یافت، به‌طوری‌که میزان زیست‌توده از دامنه بقای صفر تا ۲۵ درصد به ۵۰-۲۶، ۷۵-۵۱، ۱۰۰-۷۶ درصد به‌ترتیب ۳۸، ۵۴ و ۶۶ درصد افزایش یافت (شکل ۴)، کاهش رشد گیاه در هنگام تنش شوری را می‌توان به کم شدن میزان فتوسنتز گیاه نسبت داد که خود ناشی از تأثیر منفی تنش شوری بر مکانیسم‌های شیمیایی و غیر شیمیایی گیاه در معرض شوری است. همچنین کم شدن رشد گیاه می‌تواند به‌دلیل خشکی ایجاد شده توسط تنش شوری باشد که موجب کاهش پتانسیل اسمزی در محیط رشد می‌شود و گیاه را مجبور به استفاده از ترکیبات یونی برای تنظیم اسمزی می‌کند (Doraki et al., 2018).

جدول ۴- تأثیر تنش شوری (۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم) بر صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های نخود در دامنه بقای صفر تا ۲۵ درصد

Table 4- Effect of salinity stress of (12 dS.m^{-1} of sodium chloride) on traits studied in chickpea genotypes in the survival range of 0-25%

ژنوتیپ Genotype (MCC)	بقا Survival %	شاخه در بوته Branch. plant^{-1}	ارتفاع بوته Plant height (cm)	اختلاف ارتفاع بوته ΔHeight (cm)	زیست‌توده Biomass (mg.plant^{-1})	محتوی سدیم Na (mg.gdw^{-1})	محتوی پتاسیم K (mg.gdw^{-1})	نسبت سدیم به پتاسیم Na.K^{-1}
1549	25	7.33	20	4	280	5.90	37.7	0.16
1687	25	7.67	20	2	233	11.3	6.90	1.64
2113	24	6.00	14	0	453	20.2	3.10	6.52
1484	23	7.67	22	6	651	20.9	6.60	3.17
1975	23	10.33	18	3	287	2.60	6.80	0.38
1956	22	9.33	19	8	447	1.60	10.0	0.16
1531	22	11.00	22	4	635	14.6	9.40	1.55
1974	22	7.67	17	0	396	6.00	4.10	1.46
1637	22	10.67	23	4	668	12.3	5.50	2.24
1953	20	7.67	21	2	273	12.8	47.3	0.27
2114	20	8.00	17	0	498	11.4	27.2	0.42
1640	20	6.33	16	0	216	4.40	40.1	0.11
1354	20	9.33	19	1	329	18.8	3.60	5.22
1615	18	8.33	20	2	358	1.80	9.70	0.19
1512	18	7.67	20	3	345	7.40	9.40	0.79
1829	17	7.67	22	3	625	23.9	3.30	7.24
1769	17	7.67	17	1	438	14.5	39.9	0.36
1917	17	9.67	19	4	532	5.70	16.9	0.34
1741	17	4.67	15	0	127	4.20	5.80	0.72
1518	17	7.67	16	4	384	23.8	4.90	4.86
1811	17	8.00	17	2	422	29.9	7.50	3.99
1428	17	7.67	18	0	366	5.90	13.5	0.44
1567	17	8.67	17	0	386	8.60	8.30	1.04
1553	17	8.33	16	2	309	14.5	5.80	2.50
1844	15	7.00	21	1	531	16.0	6.30	2.54
1913	15	10.00	20	5	676	4.00	8.60	0.47
1958	14	7.67	18	0	450	22.5	7.20	3.13
2120	14	10.67	20	4	598	12.7	10.0	1.27
2116	14	7.00	24	4	411	13.3	28.1	0.47
1586	14	6.67	18	2	293	15.1	2.70	5.59
1834	13	9.00	23	7	553	16.4	44.2	0.37
1667	13	7.00	16	3	416	4.90	8.60	0.57
1972	13	6.67	26	4	412	3.00	7.40	0.41
1803	11	9.33	18	6	572	10.7	5.00	2.14
1425	11	7.67	18	0	490	24.0	5.10	4.71
1924	11	6.33	20	4	321	13.9	32.8	0.42
1276	10	6.67	16	0	379	8.10	7.90	1.03
1772	9	5.67	16	2	440	5.90	11.5	0.51
2045	9	8.33	18	3	434	4.40	34.2	0.13

ادامه جدول ۴- تأثیر تنش شوری (۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم) بر صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های نخود در دامنه بقای صفر تا ۲۵ درصد

Table 4- Effect of salinity stress of (12 $dS.m^{-1}$ of sodium chloride) on traits studied in chickpea genotypes in the survival range of 0-25%, continued

ژنوتیپ Genotype (MCC)	بقا Survival %	شاخه در بوته Branch. $plant^{-1}$	ارتفاع بوته Plant height (cm)	اختلاف ارتفاع بوته ΔHeight (cm)	زیست‌توده Biomass ($mg.plant^{-1}$)	محتوی سدیم Na ($mg.gdw^{-1}$)	محتوی پتاسیم K ($mg.gdw^{-1}$)	نسبت سدیم به پتاسیم $Na.K^{-1}$
1577	9	8.67	20	1	493	22.3	13.8	1.62
2017	8	6.00	20	1	184	22.1	41.2	0.54
1713	8	7.67	18	0	465	4.70	12.6	0.37
1764	8	6.00	16	1	263	3.60	4.70	0.77
1639	8	7.33	17	0	381	21.4	4.50	4.76
1993	0	6.33	17	7	304	7.40	35.0	0.21
2115	0	7.67	17	1	423	4.00	7.40	0.54
2073	0	6.67	16	0	231	4.90	7.70	0.64
1894	0	7.67	23	0	315	3.30	9.50	0.35
2019	0	6.00	18	3	339	5.30	7.60	0.70
1465	0	4.00	17	0	185	3.00	10.4	0.29
1779	0	4.33	16	1	107	1.30	10.4	0.13
1649	0	6.33	15	0	216	1.30	9.00	0.14
1847	0	6.00	14	2	260	3.70	8.30	0.45
1776	0	5.67	19	0	282	3.50	31.7	0.11
1721	0	8.50	18	3	150	18.6	34.6	0.54
1766	0	6.33	14	0	209	7.00	19.9	0.35
1554	0	5.33	14	1	138	27.6	46.4	0.59
1772	0	8.33	18	0	251	2.80	48.6	0.06
1707	0	6.33	19	0	409	1.80	10.2	0.18
1919	0	8.00	20	2	357	1.60	4.60	0.35
1956	0	5.00	15	4	185	3.30	8.70	0.38
2020	0	8.00	18	0	333	2.30	6.20	0.37
1770	0	7.33	20	0	222	19.5	8.20	2.38
1584	0	5.50	17	0	302	13.8	8.50	1.62
1626	0	10.00	23	4	494	6.90	7.20	0.96
1834	0	5.33	16	1	223	5.70	36.1	0.16
1618	0	5.00	18	0	199	5.50	24.6	0.22
1900	0	6.00	20	0	248	5.50	34.0	0.16
1726	0	7.67	24	4	448	13.5	24.0	0.56
1613	0	8.67	20	2	426	14.8	40.4	0.37
1644	0	6.00	18	1	314	5.30	11.3	0.47
1640	0	6.67	18	0	148	4.30	3.50	1.23
1631	0	8.67	25	3	415	9.90	5.00	1.98
1619	0	7.33	18	1	206	5.30	12.4	0.43
1543	0	6.33	19	0	280	14.4	7.00	2.06
1801	0	6.67	17	1	261	7.90	7.70	1.03
1898	0	8.33	18	0	261	10.5	6.60	1.59
1732	0	11.33	19	6	591	19.5	5.20	3.75
1603	0	7.00	16	1	226	9.80	7.30	1.34
1915	0	6.00	14	1	238	3.70	5.70	0.65
1695	0	6.33	18	4	95	1.30	7.80	0.17
1810	0	5.00	16	1	100	2.80	0.20	14.00
1813	0	8.33	15	2	209	9.00	4.50	2.00
1751	0	7.00	16	0	266	8.30	4.70	1.77
2003	0	7.33	15	0	242	6.70	3.10	2.16
1774	0	11.00	28	5	414	6.00	5.20	1.15
1997	0	6.00	15	0	153	2.60	5.80	0.45
2031	0	5.00	18	0	219	7.90	3.60	2.19
1611	0	7.00	20	0	316	15.0	32.1	0.47
1838	0	3.00	9	0	116	55.1	40.3	1.37

ادامه جدول ۴- تأثیر تنش شوری (۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم) بر صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های نخود در دامنه بقای صفر تا ۲۵ درصد

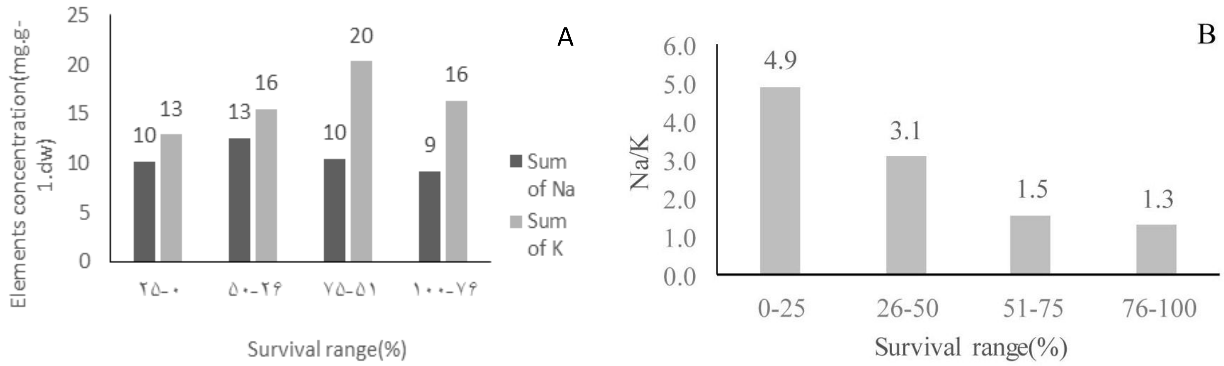
Table 4- Effect of salinity stress of (12 $dS.m^{-1}$ of sodium chloride) on traits studied in chickpea genotypes in the survival range of 0-25%, continued

ژنوتیپ Genotype (MCC)	بقا Survival %	شاخه در بوته Branch. $plant^{-1}$	ارتفاع بوته Plant height (cm)	اختلاف ارتفاع بوته ΔHeight (cm)	زیست‌توده Biomass ($mg.plant^{-1}$)	محتوی سدیم Na ($mg.gdw^{-1}$)	محتوی پتاسیم K ($mg.gdw^{-1}$)	نسبت سدیم به پتاسیم $Na.K^{-1}$
2118	0	7.33	15	2	251	15.7	4.6	3.41
1635	0	5.67	18	1	422	7.50	5.90	1.27
1761	0	5.67	19	0	319	9.10	7.70	1.18
1597	0	7.33	18	1	416	7.20	3.40	2.12
1604	0	7.00	14	1	224	6.50	7.40	0.88
1852	0	5.67	17	0	281	9.60	7.20	1.33
1528	0	6.00	19	0	247	6.60	6.20	1.06
1838	0	6.67	17	0	315	10.6	8.70	1.22
1699	0	3.50	16	0	186	5.10	4.10	1.24
1967	0	5.67	17	0	233	7.40	7.10	1.04
2078	0	9.00	17	1	437	14.6	2.90	5.03
1234	0	4.00	15	4	208	6.50	4.40	1.48
1551	0	5.67	22	5	273	4.90	9.10	0.54
1830	0	6.67	16	0	260	8.10	15.0	0.54
1896	0	8.00	27	4	669	19.10	5.00	3.82
1837	0	11.00	32	7	671	19.10	8.30	2.30
2018	0	4.33	17	0	215	5.80	7.50	0.77
1747	0	7.50	22	3	475	15.1	6.00	2.52
1698	0	3.00	12	5	115	17.9	9.80	1.83
1525	0	9.00	22	3	497	11.4	4.60	2.48
1312	0	5.00	16	0	170	3.80	4.40	0.86
1665	0	6.00	16	1	128	3.80	7.60	0.50
2046	0	9.50	20	2	277	15.0	2.20	6.82
حداقل تفاوت معنی‌دار $LSD_{(0.05)}$	2.32	2.99	7.40	4.60	275.23	5.11	5.29	6.34
سطح احتمال P_{value}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	001^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}
ضریب تغییرات CV (%)	4	19	19	69	34	25	18	90

MCC: بانک بذر نخود مشهد، LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، CV: ضریب تغییرات.

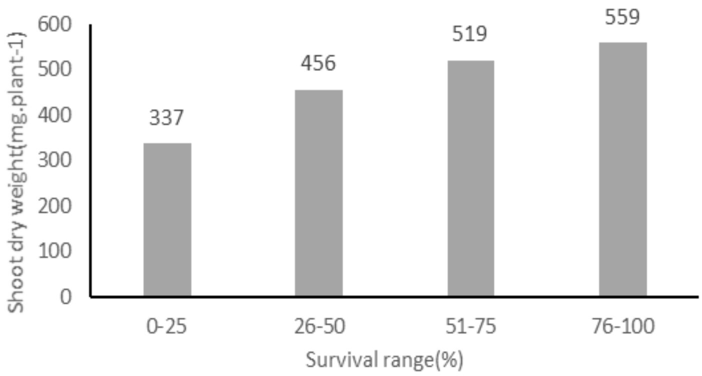
MCC: Mashhad Chickpea Collection, LSD: Least Significant Difference in p≤0.05 of probability level, CV: Coefficient of variation.

زیست‌توده تولیدی، برآیند تمامی فعالیت‌های گیاه در طول دوره رشد است. بعد از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر بین اختلاف ارتفاع بوته قبل و بعد از تنش تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جداول ۱، ۲، ۳ و ۴). بررسی میزان اختلاف ارتفاع بوته نشان داد که با افزایش میزان بقا، اختلاف ارتفاع بوته نیز افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که میزان اختلاف ارتفاع بوته از دامنه بقای صفر تا ۲۵ درصد به ۵۰-۲۶، ۷۵-۵۱، ۱۰۰-۷۶ درصد به‌ترتیب، ۲/۲۲، ۳/۵ و ۳/۴ برابر افزایش یافت (شکل ۵). به‌دلیل اینکه تورژسانس در سلول‌ها به‌طور مناسب انجام نمی‌شود و گیاه بیشتر مواد تولیدی خود را صرف مقابله با تنش شوری می‌کند، در نتیجه دوره رشد گیاه کوتاه می‌شود و مکانیسم‌های فرار از تنش، تماماً مانع رشد و تولید زیست‌توده می‌شود، گیاهی که بقای بیشتری دارد، زمان بیشتری برای رشد دارد، در نتیجه میزان زیست‌توده آن نیز بیشتر است (Doraki et al., 2018).



شکل ۳- غلظت سدیم و پتاسیم اندام‌های هوایی (A) و نسبت غلظت سدیم به پتاسیم اندام‌های هوایی (B) در ژنوتیپ‌های نخود در دامنه‌های بقا، چهار هفته بعد از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم

Fig. 3- Shoot Na and K (A) and Na/K (B) concentrations of chickpea genotypes in different survival range after four weeks of 12 dS.m^{-1} NaCl salinity



شکل ۴- وزن اندام هوایی ژنوتیپ‌های نخود در دامنه‌های بقا، چهار هفته بعد از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم

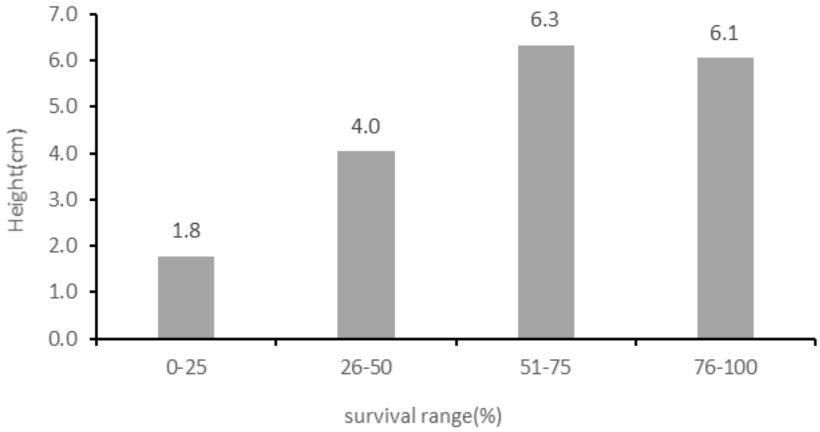
Fig. 4- Shoot dry weight of chickpea genotypes in survival range after four weeks of 12 dS.m^{-1} NaCl salinity

تنش شوری به‌سبب ایجاد تأثیراتی مانند تنش اسمزی و سمیت یونی همراه با سمیت سدیم و تنش اکسیداتیو، رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Kumar et al., 2021). ایجاد پتانسیل اسمزی، جذب آب را محدود می‌کند که بر رشد گیاه تأثیر منفی می‌گذارد و زیست‌توده را کاهش می‌دهد (Kumar et al., 2021).

زیست‌توده تولیدی، یکی از شاخص‌های کلیدی برای تشخیص وضعیت گیاه است. بین زیست‌توده و بقا (r^2=۰/۴۷**)، تعداد شاخه فرعی (r^2=۰/۵۰**)، ارتفاع بوته (r^2=۰/۳۵**) و اختلاف ارتفاع بوته (r^2=۰/۳۰**) همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۵). سایر پژوهشگران نیز همبستگی معنی‌داری بین صفات فوق و زیست‌توده گزارش کرده‌اند (Alipoor Yamchiet al., 2013; Zare Mehrjerdi et al., 2011).

تجزیه به عامل‌ها

از طریق تجزیه به عامل می‌توان به تأثیر شرایط محیطی بر اهمیت و گروه‌بندی صفات مختلف پی برد. عامل اول، حدود ۴۳ درصد از تغییرات را توجیه کرد که شامل بقا، تعداد شاخه و ارتفاع گیاه، اختلاف ارتفاع بوته و زیست‌توده با بار منفی می‌باشد و عامل دوم که حدود ۲۰ درصد از تغییرات را توجیه کرد، شامل میزان سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم با بار منفی بودند. با توجه به اهمیت این دو عامل، صفات مذکور به‌عنوان مهم‌ترین صفات به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های نخود بوده و ژنوتیپ‌های برگزیده شده، بیشترین میزان تحمل به تنش شوری را دارند. عامل سوم که حدود ۱۳ درصد تغییرات را توجیه می‌کند، شامل میزان پتاسیم در اندام هوایی با بار مثبت بود (جدول ۶). همان طور که مشاهده می‌شود، میزان اشتراک اکثر صفات بالا است (جدول ۶) این موضوع بیانگر آن است که تعداد عامل مورد انتخاب مناسب بوده و عامل‌های انتخاب شده توانستند، تغییرات صفات را به‌صورت مطلوب توجیه کنند.



شکل ۵- اختلاف ارتفاع بوته قبل و بعد از تنش ژنوتیپ‌های نخود در دامنه‌های بقا، چهار هفته بعد از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم

Fig. 5- ΔHeight (cm) of chickpea genotypes in survival ranges after four weeks of 12 $dS.m^{-1}$ NaCl salinity

جدول ۵- ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه ژنوتیپ نخود تحت تأثیر تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم

Table 5- Correlation coefficients of traits studied in chickpea genotypes under 12 $dS.m^{-1}$ sodium chloride salt stress

		1.	**2.**	**3.**	**4.**	**5.**	**6.**	**7.**	**8.**
1.	بقا Survival	1							
2.	تعداد شاخه Branch No.	0.49^{**}	1						
3.	ارتفاع بوته Plant height	0.44^{**}	0.41^{**}	1					
4.	اختلاف ارتفاع بوته ΔHeight	0.50^{**}	0.43^{**}	0.55^{**}	1				
5.	زیست‌توده Biomass	0.47^{**}	0.50^{**}	0.35^{**}	0.30^{**}	1			
6.	محتوی سدیم Na	0.02^{ns}	0.06^{ns}	0.00^{ns}	-0.01^{ns}	0.07^{ns}	1		
7.	محتوی پتاسیم K	0.14^{**}	0.04^{ns}	0.07^{ns}	0.12^{**}	-0.04^{ns}	0.05^{ns}	1	
8.	نسبت سدیم به پتاسیم $Na.K^{-1}$	-0.01^{ns}	0.01^{ns}	-0.04^{ns}	-0.08^{ns}	0.04^{ns}	0.35^{**}	-0.25^{**}	1

* و ** و ns: به‌ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و غیر معنی‌دار

*, ** and ns: significant in 5%, and 1% of the probability levels and nonsignificant, respectively.

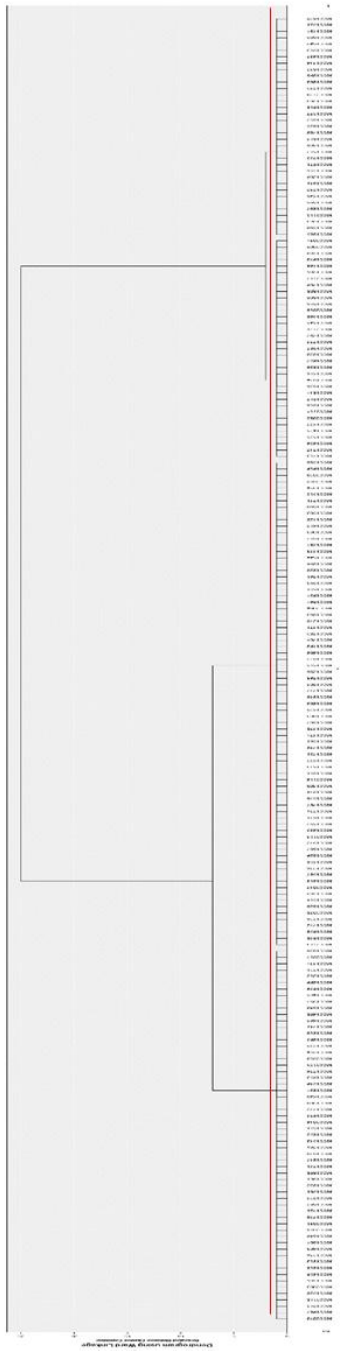
تجزیه خوشه‌ای

نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس صفات مورد مطالعه از طریق فاصله اقلیدسی (روش Ward)، ۲۱۵ ژرم‌پلاسم نخود را به چهار گروه متمایز تقسیم کرد (شکل ۶). گروه یک با ۵۹ ژنوتیپ، گروه دوم با ۷۷ ژنوتیپ، گروه سوم با ۳۵ ژنوتیپ و گروه چهارم با ۳۵ ژنوتیپ خوشه‌بندی شدند (شکل ۶).

به‌منظور بررسی بهتر گروه‌ها، برای تک‌تک صفات مورد بررسی به‌صورت جداگانه تجزیه واریانس یک‌طرفه انجام شد. به‌طوری‌که مشاهده می‌گردد، بین گروه‌ها در کلیه صفات به‌جز صفات غلظت سدیم در گیاه و نسبت سدیم به پتاسیم اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۷).

به‌منظور بررسی سهم هر یک از صفات مورد مطالعه برای هر گروه، انحراف از میانگین کل برای صفات محاسبه شد (جدول ۸). بدیهی است اگر میانگین یک صفت در یک خوشه، از میانگین آن صفت در سایر خوشه‌ها و همچنین میانگین کل، بالاتر باشد، بدین مفهوم است که ژنوتیپ‌های آن گروه برای آن

صفت، ارزش بیشتری دارند. همان‌طور که در نتایج مقایسه میانگین صفات برای گروه‌ها ملاحظه می‌گردد (جدول ۸). ژنوتیپ‌های گروه اول به همراه ژنوتیپ‌های گروه دوم ازنظر اکثر صفات زراعی مورد بررسی در مقایسه با سایر گروه‌ها و میانگین کل ژنوتیپ‌ها، از ارزش پایینی برخوردار بودند. ژنوتیپ‌های گروه سوم و چهارم از نظر اکثر صفات زراعی مورد بررسی، میانگین بالاتری را در میان سایر گروه‌ها و همچنین میانگین کل ژنوتیپ‌ها داشتند؛ بنابراین ژنوتیپ‌های این دو گروه را می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر در این پژوهش اعلام کرد (جدول ۸).



شکل ۶- گروه‌بندی خوشه‌ای ژنوتیپ‌های نخود با استفاده از صفات مورد مطالعه

Fig. 6- Classifying dendrogram in chickpea genotype based on studied traits

جدول ۶- تجزیه به عامل‌ها برای ژنوتیپ‌های نخود تحت تأثیر تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم

Table 6- Factor analysis for chickpea genotypes under 12 $dS.m^{-1}$ sodium chloride salt stress

	عامل اول **Factor 1**	عامل دوم **Factor 2**	عامل سوم **Factor 3**
بقا Survival	-0.82	0.00	0.07
تعداد شاخه Branch No	-0.85	-0.09	-0.05
ارتفاع بوته Plant height	-0.82	0.02	-0.06
اختلاف ارتفاع ΔHeight	-0.81	0.09	0.01
زیست‌توده Biomass	-0.80	-0.17	-0.13
محتوی سدیم Na	-0.02	-0.70	0.61
محتوی پتاسیم K	-0.14	0.47	0.82
نسبت سدیم به پتاسیم $Na.K^{-1}$	0.09	-0.88	-0.02
مقدار ویژه Eigen value	3.43	1.53	1.06
درصد تجمعی Cumulative%	42.9	62.0	75.3

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) گروه‌ها بر اساس صفات موردمطالعه نخود تحت تنش شوری

Table 7- Analysis of variance (mean of squares) based on measured groups in chickpea genotypes under salinity stress

صفات **Traits**	بین گروه‌ها **Between groups**	داخل گروه‌ها **Within groups**
درجه آزادی d.f	3	202
درصد بقا Survival	65646**	156866**
تعداد شاخه Branch No.	350**	465**
ارتفاع بوته Plant height	1219**	2707**
اختلاف ارتفاع ΔHeight	468**	1503**
زیست‌توده Biomass	5412082**	516663**
محتوی سدیم Na	109ns	14747ns
محتوی پتاسیم K	1214*	33777*
نسبت سدیم به پتاسیم $Na.K^{-1}$	17.9ns	3074ns

*و ** و ns: به‌ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و غیر معنی‌دار.

*, ** and ns: significant in 5%, and 1% of the probability levels and nonsignificant, respectively.

جدول ۸- مقایسه میانگین و انحراف از میانگین صفات گروه‌ها در صفات موردبررسی در ژنوتیپ‌های نخود تحت تنش شوری

Table 8- Mean comparison and standard error of means of studies traits in different groups of chickpea genotypes in the presence of salinity

تعداد Number	گروه یک Group 1 59	گروه دو Group 2 77	گروه ۳ Group 3 35	گروه ۴ Group 4 35	مجموع Total 206
درصد بقا Survival (%)	7.93^{c}*±17.6	31.0^{b}±29.6	53.7^{a}±33.7	52.6^{a}±31.6	31.9±32.9
تعداد شاخه در بوته Branch No.	6.34^{c}±1.55	8.12^{b}±1.63	9.41^{a}±1.24	9.85^{a}±1.46	8.12±1.99
ارتفاع بوته Plant height (cm)	16.9^{c}±2.69	20.0^{b}±3.59	23.2^{a}±3.25	22.9^{a}±5.29	20.1±4.38
اختلاف ارتفاع ΔHeight (cm)	1.49^{c}±2.01	3.16^{b}±2.72	5.26^{a}±3.71	5.31^{a}±2.63	3.40±3.10
زیست‌توده Biomass ($g.palnt^{-1}$)	214^{d}±52.1	390^{c}±52.6	544^{b}±42.2	677^{a}±51.1	415±170
محتوی سدیم Na ($mg.g\ dw^{-1}$)	9.35^{a}±8.86	10.8^{a}±8.59	11.2^{a}±8.47	11.0^{a}±8.00	10.5±8.51
محتوی پتاسیم K ($mg.g\ dw^{-1}$)	14.7^{ab}±14.9	14.9^{ab}±13.5	19.1^{a}±12.3	10.8^{b}±7.58	14.9±13.1
نسبت سدیم به پتاسیم $Na.K^{-1}$	1.94^{a}±3.32	2.30^{a}±4.77	1.60^{a}±2.40	2.46^{a}±3.86	2.11±3.88

* حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میان گروه‌های مختلف است.

* Means with the same latter are significntly differences.

به‌منظور تأیید تفاوت بین گروه‌ها، تجزیه واریانس چندمتغیره بر پایه طرح کاملاً تصادفی نامتعادل برای صفات مورد نظر انجام شد، به‌طوری‌که گروه‌ها به‌عنوان تیمار و ژنوتیپ‌های داخل گروه‌ها به‌عنوان تکرار در نظر گفته شدند که در آن، آماره ویلکس لامبدا (Wilks' Lambda) تنها در متغیر اول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۹)؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت، بین بردار میانگین‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشته است.

از طرف دیگر، به‌منظور بررسی صحت گروه‌بندی‌های به‌دست‌آمده از روش تجزیه خوشه‌ای، از تابع تشخیص استفاده گردید که نتایج گروه‌بندی تابع تشخیص در جدول ۱۰ آمده است. نتایج تابع تشخیص نشان داد که تمامی ژنوتیپ‌ها به‌طور صحیح گروه‌بندی شده‌اند و میزان موفقیت تابع تشخیص بالا بوده و تقریباً ۹۸/۱ درصد ژنوتیپ‌ها در گروه خود قرار گرفتند.

جدول ۹- تجزیه واریانس چند متغیره بر پایه طرح کاملاً تصادفی نامتعادل، آمارهٔ ویلکس لامبدا در ژنوتیپ‌های نخود تحت تنش شوری

Table 9- Analysis variation of multi variables based on unbalanced completely randomized design (CRD) Wilks' Lambda in chickpea genotype under salinity stress

تابع Function	درجه آزادی d.f	ویلکی لامبدا Wilks' Lambda	کای مربع Chi-square	سطح احتمال Probability level
1	24	0.07	517	0.00
2	14	0.91	18.1	0.20
3	6	0.99	2.71	0.84

جدول ۱۰- نتایج تابع تشخیص برای صحت گروه‌بندی ژنوتیپ‌های نخود تحت تنش شوری
Table 10- The results of discriminant function for clustering validity of chickpea genotypes under salinity stress

گروه Group		عضو گروه Group membership 1	2	3	4	مجموع Total
مجموع Total	1	59	0	0	0	59
	2	2	74	1	0	77
	3	0	1	34	0	35
	4	0	0	0	35	35
درصد Percent	1	100	0	0	0	100
	2	2.6	96.1	1.3	0	100
	3	0	2.9	97.1	0	100
	4	0	0	0	100	100

۹۸/۱ درصد از گروه‌بندی به‌طور صحیح انجام شده است

98.1 percent of original grouped cases correctly classified.

در تجزیه تابع تشخیص کانونیکی، متغیرهای کانونیک که مقدار ویژه آن‌ها بالاتر از یک باشند را می‌توان به‌عنوان معیاری مطمئن جهت انتساب ارقام جدید به گروه صحیح مورد استفاده قرار داد. در این مطالعه، متغیر اول کانونیک با مقدار ویژه ۱۱/۳ و ۹۹/۲ درصد واریانس موجود را تبیین کرد. همبستگی کانونیکی بسیار معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها با اولین متغیر کانونیک مشاهده شد (جدول ۱۱). هر متغیر کانونیکی، ترکیب خطی مجموعه متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و متغیرهای مجموعه اندازه‌گیری شده را محاسبه می‌کند (Alipoor Yamchi et al., 2013).

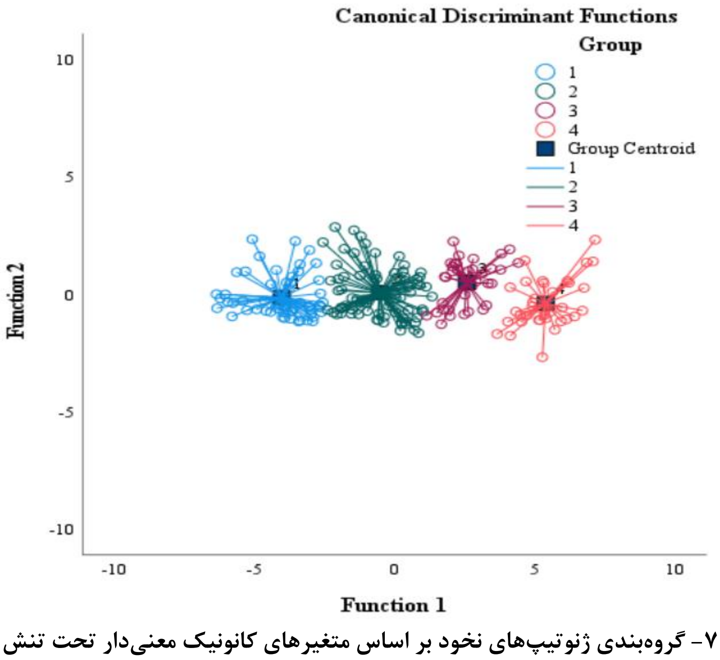
ضرایب تشخیص استاندارد شده کانونیکی، همبستگی خطی ساده بین متغیرهای اصلی و متغیرهای کانونیکی را محاسبه می‌کند؛ لذا ضرایب تشخیص استاندارد شده کانونیکی منعکس‌کننده واریانس مشترکی است که متغیرهای اندازه‌گیری شده با متغیرهای کانونیک دارند و می‌تواند در ارزیابی توجیه نسبی هر متغیر در هر معادله کانونیک مورد تفسیر قرار گیرد (Alipoor Yamchi et al., 2013) رنچر (Rencher, 2002) نیز توصیه می‌کند که برای تفسیر توابع تشخیص، از ضرایب تشخیص استاندارد شده استفاده شود. این ضرایب، تأثیرات هر صفت را بعد از حذف اثرات سایر صفات در توابع تشخیص به‌دست می‌دهد.

در حقیقت، اثرات خالص هر صفت را در تابع تشخیص محاسبه می‌کند. ضرایب استاندارد شده کانونیکی صفات بقا و زیست‌توده در اولین معادله تشخیصی کانونیکی قابل‌توجه است (جدول ۱۱). همچنین ضرایب ارتفاع بوته، اختلاف ارتفاع بوته و غلظت پتاسیم در در اندام هوایی در دومین معادله تشخیصی کانونیکی زیاد است (جدول ۱۱). این نتایج حاکی از آن است که این صفات بیشترین تأثیر را در تنوع بین ژنوتیپ‌ها دارند. سپس از متغیرهای کانونیکی معنی‌دار اول و دوم برای گروه‌بندی ارقام استفاده شد (شکل ۷). همان‌طور که مشاهده می‌گردد، چهار گروه کاملاً مجزا به‌دست‌آمده و در هر گروه، تنوع ژنتیکی درون‌گروهی کمی نسبت به تنوع ژنتیکی بین گروهی دارد. در حقیقت، ارقام هر گروه، فاصله ژنتیکی کمی با یکدیگر دارند.

جدول ۱۱- ضرایب استاندارد کانونیکی صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های نخود تحت تنش شوری

Table 11- Standardized canonical discriminant function coefficients measured groups in chickpea genotypes under salinity stress

صفات Traits	تابع کانونیکی Canonical function		
	1	2	3
درصد بقا Survival	-0.22*	0.39	0.13
تعداد شاخه Branch No	-0. 05	0.25	0.87*
ارتفاع بوته Plant height	-0.06	0.52*	-0.06
اختلاف ارتفاع ΔHeight	0.13	-0.12*	-0.64
زیست‌توده Biomass	1.07*	-0.20	-0.15
محتوی سدیم Na	0.15	0.10	0.15*
محتوی پتاسیم K	-0.10	0.53*	-0.35
نسبت سدیم به پتاسیم $Na.K^{-1}$	-0.18	0.03	0.26*
مقدار ویژه Eigenvalue	11.3	0.08	0.01
درصد تجمعی Cumulative%	99.2	99.9	100
همبستگی کانونیکی Canonical correlation	0.96**	0.27ns	0.16ns



شکل ۷- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های نخود بر اساس متغیرهای کانونیک معنی‌دار تحت تنش شوری

Fig. 7- Cluster grouping of chickpea genotypes based on significant canonical variable under controlled conditions

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که میزان سدیم ورودی به اندام‌های هوایی ژنوتیپ‌های نخود متحمل به شوری، کمتر از ژنوتیپ‌های حساس بود. همچنین ژنوتیپ‌های متحمل به شوری نخود، از پتاسیم بالاتری در اندام هوایی خود برخوردار بودند، درحالی‌که میزان پتاسیم در ژنوتیپ‌های حساس نخود به‌شدت کاهش یافته بود. بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تنوع ژنتیکی معنی‌داری وجود دارد و برخی از ژنوتیپ‌ها با داشتن توان زنده ماندن بالا و صفات مطلوب دیگر، می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی مورد استفاده قرار گیرند و منشأ تولید ارقام اصلاح‌شده باشند. تجزیه تابع تشخیص کانونیکی نیز در محاسبه میزان تنوع و شناسایی صفات بسیار مؤثر در تنوع ژنوتیپ‌های نخود، موفق عمل کرد. علاوه‌براین، استفاده از روش تجزیه خوشه‌ای در تمایز ژنوتیپ‌ها به زیرگروه‌های مشابه بر اساس صفات مورفولوژیک و زراعی نتیجه مطلوب و قابل قبولی در برداشت. به‌طور کلی، ژنوتیپ‌های گروه سوم (۳۵ ژنوتیپ) و چهارم (۳۵ ژنوتیپ) تجزیه خوشه‌ای، صفات مهمی مانند بقای بالا، زیست‌توده مناسب، ارتفاع بوته بیشتر را دارند و می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی برای تحمل به شوری موردتوجه قرار گیرند.

سپاسگزاری

نویسندگان لازم می‌دانند از حوزه معاونت پژوهشی و دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد جهت تأمین اعتبار اجرای این طرح سپاسگزاری نمایند.

References

Alipoor Yamchi, H., Bihamta, M., Peyghambari, S.A., Naghavi, M., & Majnoon Hoseini, N. (2013). Grouping of Kabuli chickpea genotypes using multivariate statistical methods. *Iranian Journal Pulses Research*, *4*(2), 21-34. (In Persian with English summary). https://doi.org/10.22067/ijpr.v1392i2.41258

Arzani, A. (2008). Improving salinity tolerance in crop plants: A biotechnological view. *In vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, *44*, 373–383. https://doi.org/10.1007/s11627-008-9157-7

Arzani, A., & Ashraf, M. (2016). Smart engineering of genetic resources for enhanced salinity tolerance in crop plants. *Critical Reviews in Plant Sciences, 35*(3), 146-189. https://doi.org/10.1080/07352689.2016.1245056

Aslam, M., Maqbool, M.A., Mushtaq, Q., Akhtar, M.A., & Aslam, A.Y.E.S.H.A. (2018). Uncovering the biological and agronomic stability of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes against sodium chloride stress. *Pakistan Journal of Botany*, *50*(4), 1297-1304.

Doraki, G.R., Zamani, G.R., & Sayyari, M.H. (2018). Effect of salt stress on yield and yield components in chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Azad). *Iranian Journal Pulses Research, 9*(1), 57-68. (In Persian with English summary). https://doi.org/10.22067/ijpr.v9i1.53816

Gautam, A., Panwar, R.K., Verma, S.K., Arora, A., Gaur, A.K., & Chauhan, C. (2021). Assessment of genetic variability parameters for yield and its components in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Biological Forum–An International Journal*, *13*(2), 651-655.

Hoagland, D.R., & Arnon, D.L. (1950). The water culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circular. pp. 347.

Kaashyap, M., Ford, R., Kudapa, H., Jain, M., Edwards, D., Varshney, R., & Mantri, N. (2018). Differential regulation of genes involved in root morphogenesis and cell wall modification is associated with salinity tolerance in chickpea. *Scientific Reports*, *8*(1), 1-19.

Kaashyap, M., Ford, R., Mann, A., Varshney, R.K., Siddique, K.H., & Mantri, N. (2022). Comparative flower transcriptome network analysis reveals DEGs involved in chickpea reproductive success during salinity. *Plants*, *11*(3), 434. https://doi.org/10.3390/plants11030434

Kotula, L., Clode, .P.L., Jimenez, J.D.L.C., & Colmer, T.D. (2019). Salinity tolerance in chickpea is associated with the ability to ‘exclude’ Na from leaf mesophyll cells. *Journal of Experimental Botany, 70*(18), 4991-5002. https://doi.org/10.1093/jxb/erz241

Kumar, N., Barmukh, R., Sengar, M.S., Bharadwaj, C., & Varshney, R.K. (2020). Genetic dissection and identification of candidate genes for salinity tolerance using Axiom® CicerSNP array in chickpea. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(14), 5058.

Kumar, N., Bharadwaj, C., Soni, A., Sachdeva, S.U.P.R.I.Y.A., Yadav, M.C., Pal, M.A.D.A.N., & Rana, M.A.N.E.E.T. (2020). Physio-morphological and molecular analysis for salt tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, *90*(4), 132-136.

Kumar, N., Soren, K.R., Bharadwaj, C., PR, S.P., Shrivastava, A.K., Pal, M., & Varshney, R.K. (2021). Genome-wide transcriptome analysis and physiological variation modulates gene regulatory networks acclimating salinity tolerance in chickpea. *Environmental and Experimental Botany, 187,* 104478. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104478

Lavrenko, N., Lavrenko, S., Revto, O., & Lykhovyd, P. (2018). Effect of tillage and humidification conditions on desalination properties of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Ecological Engineering*, *19*(5), 70-75. https://doi.org/10.12911/22998993/91265

Moustafa, E.S., Ali, M.M., Kamara, M.M., Awad, M.F., Hassanin, A.A., & Mansour, E. (2021). Field screening of wheat advanced lines for salinity tolerance. *Agronomy*, *11*(2), 281. https://doi.org/10.3390/agronomy11020281

Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, *59*, 651-681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

Mushtaq, Z., Faizan, S., Gulzar, B., Mushtaq, H., Bushra, S., Hussain, A., & Hakeem, K.R. (2022). Changes in growth, photosynthetic pigments, cell viability, lipid peroxidation and antioxidant defense system in two varieties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) subjected to salinity stress. *Phyton*, *91*(1), 149. 10.32604/phyton.2021.016231

Nabati, J., Kafi, M., Nezami, A., & Boroumand Rezazadeh, A. (2021). Evaluation of salinity tolerance of 140 desi chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes. *Iranian Journal of Pulses Research*, *12*(1), 220-205. (In Persian with English summary).

Nasiri, Z., Nabati, J., Nezami, A., & Kafi, M. (2021). Screening of Kabuli-type chickpea genotypes for salinity tolerance under field condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *14*(4), 1055-1068. (In Persian with English summary). https://doi.org/10.22077/escs.2020.3290.1839

Pushpavalli, R., Quealy, J., Colmer, T.D., Turner, N.C., Siddique, K.H., Rao, M.V., & Vadez, V. (2016). Salt stress delayed flowering and reduced reproductive success of chickpea (*Cicer arietinum* L.), a response associated with Na^+ accumulation in leaves. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *202*(2), 125-138. https://doi.org/10.1111/jac.12128

Rencher, A.C., & Christensen, W.F. (2002). Methods of multivariate analysis. A john wiley and sons Inc. Publication.

Soren, K.R., Madugula, P., Kumar, N., Barmukh, R., Sengar, M.S., Bharadwaj, C., & Varshney, R.K. (2020). Genetic dissection and identification of candidate genes for salinity tolerance using Axiom® CicerSNP array in chickpea. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(14), 5058. https://doi.org/10.3390/ijms21145058

Sun, Y., Lindberg, S., Shabala, L., Morgan, S., Shabala, S., & Jacobsen, S.E. (2017). A comparative analysis of cytosolic Na+ changes under salinity between halophyte quinoa (*Chenopodium quinoa*) and glycophyte pea (*Pisum sativum*). *Environmental and Experimental Botany*, *141*, 154-160. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.07.003

Tandon, H.L.S. (1995). Methods of analysis of soils, plants, water and fertilizers. Fertiliser Development and Consultation Organisation, New Delhi.

Tsehaye, A., Fikre, A., & Bantayhu, M. (2020). Genetic variability and association analysis of Desi-type chickpea (*Cicer arietinum* L.) advanced lines under potential environment in North. Gondar, Ethiopia. *Cogent Food and Agriculture*, *6*(1), 1806668. https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1806668

Vaishnani, B., Nathwani, S.A., Baraiya, T., & Panigrahi, J. (2022). Physiological, biochemical, and enzymatic implications of “salt and lead” tolerance in *Cicer arietinum* under hydroponic culture condition. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, *100*(4), 483-498. https://doi.org/10.21608/ejar.2022.131925.1226

Zare Mehrjerdi. M., Nabati, J., Masomi, A., Bagheri, A.R., & Kafi, M. (2011). Evaluation of tolerance to salinity based on root and shoot growth of 11 drought tolerant and sensitive chickpea genotypes at hydroponics conditions. *Iranian Journal Pulses Research*, *2*(2), 83-96. (In Persian with English summary). https://doi.org/10.22067/ijpr.v2i2.19045